

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 16832

(54)

Dispositif pour la transformation en électricité de la chaleur dissipée dans les gaz d'échappement d'un moteur à combustion interne.

(51)

Classification internationale (Int. Cl.³). F 02 G 5/02; H 01 L 35/00 // F 01 N 5/02.

(22)

Date de dépôt..... 4 septembre 1981.

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée :

(41)

Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 10 du 11-3-1983.

(71)

Déposant : CARABETIAN Charles. — FR.

(72)

Invention de : Charles Carabetian.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : Cabinet Tony-Durand,
22, bd Voltaire, 75011 Paris.

La présente invention a pour objet un dispositif pour la transformation en électricité de la chaleur contenue dans les gaz d'échappement d'un moteur à combustion interne, notamment mais non exclusivement dans les véhicules automobiles, 5 l'électricité ainsi produite pouvant être immédiatement utilisée dans le véhicule ou stockée dans sa batterie.

On sait que les moteurs à combustion interne, qu'ils soient à essence, diesel ou à gaz, n'utilisent qu'une faible part de l'énergie contenue dans le carburant pour 10 la transformer en énergie mécanique, tout le reste de cette énergie étant perdu sous forme de chaleur, notamment par les gaz d'échappement.

L'invention a pour but de récupérer la plus grande partie possible de l'énergie calorifique perdue à l'échappement en la transformant en énergie électrique pouvant être 15 utilisée pour le fonctionnement du moteur lui-même et des accessoires électriques montés sur les circuits électriques des véhicules automobiles.

Suivant l'invention, le dispositif comprend un 20 générateur thermoélectrique, formé d'une série de thermoéléments électriquement reliés entre eux, et au circuit électrique du véhicule, et disposés entre une enceinte communiquant avec une pipe d'échappement des gaz brûlés et le circuit de fluide de refroidissement du moteur formant 25 une source froide, des moyens étant prévus pour assurer la conduction de chaleur entre les gaz d'échappement et le circuit de refroidissement à travers les thermoéléments, afin de créer un courant électrique dans ces derniers, tandis que les gaz ayant traversé l'enceinte sont évacués 30 vers le pot d'échappement.

Le générateur thermoélectrique ainsi réalisé à partir d'une source chaude constituée par les gaz d'échappement et d'une source froide constituée par le circuit du fluide de refroidissement du moteur, produit donc du courant

électrique dont la tension dépend notamment de la différence de température entre les sources chaude et froide. Le dispositif ainsi réalisé peut donc remplacer très avantageusement les dynamos ou alternateurs associés aux moteurs à combustion interne et qui fournissent classiquement l'énergie électrique nécessaire au moteur et aux accessoires électriques du véhicule.

Entre autres avantages, l'invention économise donc de l'énergie par récupération de calories jusque là perdues, et permet de remplacer des machines tournantes (dynamos ou alternateurs) par des systèmes statiques. Il en résulte une meilleure fiabilité et un fonctionnement silencieux.

Suivant une forme de réalisation de l'invention, l'enceinte du générateur est équipée d'ailettes intérieures d'échange thermique, facilitant le transfert de la chaleur des gaz aux thermoéléments, un isolant électrique étant interposé entre l'enceinte et ces derniers d'une part, et entre le circuit de fluide de refroidissement et lesdits thermoéléments d'autre part.

Suivant un autre mode de réalisation de l'invention, dans lequel le fluide de refroidissement est de l'eau formant la source froide du générateur, l'invention prévoit que cette source froide est constituée de radiateurs placés au contact des thermoéléments, parcourus par une circulation d'eau et raccordés à leurs extrémités au circuit de refroidissement du véhicule.

Suivant une autre caractéristique, l'invention prévoit que les thermoéléments sont reliés à un régulateur de tension qui transforme la tension délivrée par les thermoéléments en une tension continue utilisable par les équipements électriques du véhicule.

Les thermoéléments peuvent être des barreaux semi-conducteurs homogènes, réalisés par exemple en tellurure de plomb de type P et N dopés, ou composites, réalisés par exemple par

deux éléments bout à bout en tellurure de plomb et tellurure de bismuth.

Les caractéristiques du générateur thermoélectrique ainsi constitué dépendent notamment du nombre et de la
5 nature des thermoéléments placés en série électriquement, et en parallèle thermiquement.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description qui va suivre.

Aux dessins annexés, on a représenté à titre
10 d'exemples non limitatifs plusieurs formes de réalisation possibles du dispositif selon l'invention.

- La figure 1 est une vue en élévation montrant le principe de fonctionnement d'un générateur thermoélectrique.

- La figure 2 est un schéma simplifié montrant le
15 dispositif de production d'électricité selon l'invention, raccordé au circuit de refroidissement d'un moteur à combustion interne.

- La figure 3 est une vue en coupe axiale du générateur thermoélectrique faisant partie du
20 dispositif schématisé à la figure 2.

- La figure 4 est une vue en coupe transversale suivant IV-IV de la figure 3.

- La figure 5 est une vue en élévation illustrant une variante de réalisation d'un thermoélément du générateur
25 visé par l'invention.

- La figure 6 est une vue mi-coupe, mi-élévation longitudinale d'une seconde variante de réalisation du générateur thermoélectrique prévu par l'invention.

On a représenté schématiquement à la figure 1 le
30 principe d'un générateur thermoélectrique : un couple thermoélectrique comporte deux éléments 1, 2, l'élément 1 par exemple étant du type P, avec un coefficient de Seebeck positif, tandis que l'autre élément 2 est de type N, avec

un coefficient de Seebeck négatif. Ces éléments sont constitués de barreaux semi-conducteurs convenablement choisis compte tenu de leurs caractéristiques thermoélectriques et du domaine de température de travail prévu. Les deux éléments
5 1 et 2 sont reliés par une barrette 3 de jonction électrique, et chaque élément 1, 2 est relié au couple contigu (non représenté), par une barrette jonction 4.

Le générateur comporte une source froide Sf et une source chaude Sc, isolées électriquement des barrettes
10 3 et 4 par des couches isolantes 5, thermiquement conductrices.

Le flux de chaleur issu de la source chaude Sc traverse les éléments 1, 2 en direction de la source froide Sf, créant ainsi un gradient de température le long de chaque barreau 1, 2, qui provoque dans le couple 1, 2
15 l'apparition d'une force électromotrice dont la grandeur est liée à la différence de température. En plaçant un certain nombre de couples thermoélectrique en série et thermiquement en parallèle, on obtient ainsi un générateur de courant continu, de façon connue en soi.

20 L'invention prévoit de produire de l'électricité dans un véhicule automobile, à partir d'une source chaude constituée par les gaz brûlés circulant dans la pipe d'échappement en direction du pot d'échappement, et d'une source froide constituée par le circuit de fluide de refroidissement du véhicule (eau ou air). On décrira une première
25 forme de réalisation de ce dispositif en se référant aux figures 2 à 4.

On a représenté à la figure 2 de manière schématique le circuit de refroidissement et des gaz d'échappement
30 du moteur à combustion interne d'un véhicule automobile.

Ce circuit est à refroidissement par de l'eau, et comporte, de façon connue, une première canalisation 6 équipée d'une pompe à eau 7 dans laquelle circule l'eau

chaude venant du moteur, un radiateur 8 dans lequel débouche la canalisation 6, une seconde canalisation 9 reliée au radiateur 8 et qui recycle l'eau refroidie vers le moteur du véhicule. La pipe d'échappement a été schématiquement
5 représentée par la conduite en traits mixtes 11, qui débouche dans le pot d'échappement non représenté.

Le dispositif prévu par l'invention comprend un générateur thermoélectrique 12 interposé entre la pipe d'échappement 11 et le pot d'échappement, dont la source
10 chaude est constituée par une enceinte débouchant à ses extrémités dans la pipe d'échappement 11 et vers le pot d'échappement, tandis que sa source froide est formée par des radiateurs à eau 13. Ces derniers communiquent d'une part avec un radiateur secondaire 14 relié à la sortie 15
15 du radiateur principal 8, et d'autre part avec la canalisation d'entrée 6 par une tuyauterie 16.

Le trajet suivi par l'eau de refroidissement a été représenté par les flèches portées sur la figure 2.

Le générateur 12 comprend une série de thermoélé-
20 ments 17 (figures 3 et 4) électriquement reliés entre eux par des barrettes de jonction 18 et au circuit électrique du véhicule par des connexions 19. Ces rangées d'éléments 17 sont disposées entre une enceinte 21 communiquant avec la pipe d'échappement 11 à son entrée, et à sa sortie 22
25 avec une tubulure 23 de liaison avec le pot d'échappement (non représenté) des gaz brûlés ; les radiateurs extérieurs 13 ^{sont} branchés sur le circuit de refroidissement à eau du véhicule (15,16).

Le sens de circulation de l'eau dans les radiateurs
30 13 a été indiqué par les flèches F.

L'enceinte 21, de forme générale parallélépipédique dans l'exemple représenté, est équipé d'un ensemble d'ailettes intérieures 24 d'échange thermique, ayant pour

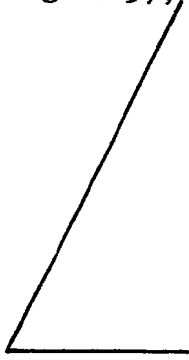
fonction de faciliter le transfert de la chaleur des gaz brûlés aux thermoéléments 17. Un isolant électrique 25/10 est interposé entre l'enceinte 21 et les barreaux 17 d'une part, et entre les radiateurs 13 de la source froide et les barreaux 17 d'autre, 5 part. Cet isolant électrique peut être par exemple de l'alumine, qui a en effet l'avantage d'être un bon conducteur thermique.

Les connexions 19 sont reliées à un régulateur de tension 26 qui transforme la tension continue provenant des thermoéléments 17, en une tension continue et stabilisée, qui 10 peut alors être ou bien stockée dans la batterie d'accumulateurs du véhicule, ou bien utilisée directement pour le fonctionnement du moteur et/ou pour alimenter les accessoires électriques du véhicule.

Les thermoéléments 17 ont avantageusement leurs 15 extrémités revêtues d'une couche de fer déposée par exemple par pulvérisation cathodique, interposée entre ces extrémités et les barrettes de jonction 18. Ces dernières sont brasées sur la couche de fer.

En effet, la plupart des ions métalliques polluent 20 les thermoéléments par migration à l'intérieur de ceux-ci, dégradant ainsi leurs caractéristiques thermoélectriques. Or, le fer a un comportement neutre vis-à-vis de ces matériaux et ne les détériore pas.

Les thermoéléments 17 peuvent être des barreaux 25 semi-conducteurs homogènes ou composites. S'ils sont homogènes, on peut les réaliser, à titre d'exemple non limitatif, en tellurure de plomb de type P dopé à 1 % de Na, et de type N à 0,03 % de PbI_2 . Si ces barreaux sont composites, on peut les constituer par exemple par deux éléments 17a, 17b (variante de la figure 5),



mis bout à bout, réalisés respectivement en tellurure de plomb $PbTe$ et en tellurure de bismuth Bi_2Te_3 . Le tellurure de bismuth ayant un rendement nettement supérieur à celui du tellurure de plomb pour des températures inférieures à 200°C, on peut constituer des barreaux composés de ces deux matériaux de telle sorte qu'à l'équilibre thermique, la jonction chaude étant à 500°C, et la jonction froide à 100°C, la liaison entre les deux barreaux 17a et 17b soit à 200°C.

Les tubes 11a, 11b, 11c, 11d (figure 4) constituant la pipe d'échappement 11 sont polis extérieurement et intérieurement, et revêtus extérieurement d'un isolant thermique 28 (figure 3). Ces dispositions, combinées au fait que les tubes 11a-11d sont en outre de préférence découplés de la culasse du moteur, permettent de limiter considérablement les pertes thermiques des gaz brûlés avant leur entrée dans l'enceinte 21.

Les rangées de thermoéléments 17 disposés sur les deux faces de l'enceinte 21 peuvent être en nombre variable, en fonction de la tension électrique recherchée, compte tenu également de la température de la source chaude (environ 500°C) formée par les gaz d'échappement, et de la source froide constituée par l'eau dans les radiateurs 13 (environ 80 à 100°C). A titre d'exemple indicatif, on peut ainsi prévoir 300 couples composés d'une part de barreaux 17 en tellurure de plomb de 10 mm de longueur et 12 x 12 de section, de type P dopés à 1 % de sodium, et d'autre part de barreaux de type N dopés à 0,03 % de PbI_2 . On établit qu'on obtient aux bornes du générateur une force électromotrice $E = 56,4$ volts, pour une résistance interne $R = 1,5$ ohms.

Dans ces conditions, la puissance disponible à l'extérieur du générateur est de 530 Watts. Au démarrage,

au moment de la mise en température du moteur, la tension varie de zéro jusqu'à cette tension maximale de 56,4 volts.

Le régulateur de tension 26 peut être un convertisseur continu-continu qui rache cette tension puis la transforme en
5 une tension alternative de 15 volts qui est redressée. Si le rendement du régulateur 26 est de 75 %, on dispose donc de 400 Watts à la sortie du circuit.

Il convient de noter qu'afin d'assurer un bon contact thermique, il y a lieu de maintenir sous pression
10 les thermoéléments 17 entre la source chaude (gaz brûlés traversant l'enceinte 21) et la source froide (radiateurs 13).

La source chaude centrale étant fixe, les radiateurs 13 peuvent être montés flottants et plaqués sur les thermo-éléments 17 par l'intermédiaire de ressorts (non représentés),
15 placés sous les têtes de vis de fixation.

La mise en oeuvre d'un générateur thermoélectrique tel que celui qui vient d'être décrit sur un véhicule automobile, à la place des générateurs électriques dynamiques classiques (dynamos, alternateurs) montés sur les moteurs
20 à combustion interne, présente des avantages importants et multiples.

Tout d'abord, la mise en oeuvre d'un tel générateur permet une économie d'énergie comme déjà indiqué, en récupérant les calories contenues dans les gaz d'échappement.

25 Ce dispositif étant statique, et non dynamique, ne comporte aucune pièce tournante, et de ce fait présente une meilleure fiabilité et est totalement silencieux. Il permet de remplacer les accessoires des moteurs jusque là entraînés par des systèmes encombrants et peu fiables de
30 poulies et de courroies. Corrélativement, la réalisation des moteurs est simplifiée.

Il devient possible d'augmenter le nombre et la puissance des accessoires électriques des véhicules (climatisation, asservissement et automatismes divers) sans
35 augmenter la consommation de carburant.

Enfin, les pots d'échappement peuvent être simplifiés et donc rendus moins onéreux, du fait que les gaz issus du générateur selon l'invention contiennent moins d'énergie que les gaz issus habituellement de la pipe d'échappement.

Dans la variante de la figure 6, le générateur 29 comporte deux groupes 31, 32 de thermoéléments 33 isolés thermiquement par une cloison 34 représentée en traits mixtes. La première portion 31 traversée par les gaz les plus chauds est à haute température, tandis que la portion suivante 32 est moins chaude, plusieurs groupes de thermoéléments séparés thermiquement pouvant ainsi être prévus le long et autour de l'enceinte 21. La température d'équilibre de ces groupes successifs 31, 32.... serait de moins en moins élevée jusqu'à la dernière. Dans ces conditions, chaque groupe peut être équipé de thermoéléments composites, choisis pour être adaptés à la température d'équilibre du groupe considéré.

L'invention n'est pas limitée aux réalisations décrites et peut comporter de nombreuses variantes d'exécution. On peut ainsi naturellement augmenter le nombre et la dimension des éléments thermoélectriques, dans les limites du volume et de la puissance disponibles. Une autre variante dérivée de celle de la figure 6 consiste à réaliser une enceinte d'échange thermique suffisamment longue pour qu'il s'établisse le long de celle-ci un gradient de température entre l'entrée et à la sortie, où les gaz ont déjà perdu une grande partie de leur énergie. On dispose alors le long de cet échangeur des thermoéléments adaptés à la température locale.

Dans l'exemple ci-dessus on a décrit le dispositif pour un circuit de refroidissement à eau, mais il est possible de réaliser le dispositif comportant le générateur

prévu par l'invention dans le cas d'un refroidissement à air. La source froide ventilée par l'air est alors équipée d'ailettes de refroidissement en contact thermique avec les thermoéléments, et isolées électriquement de ces derniers. Dans le cas où le refroidissement est effectué par de l'eau les radiateurs 13 peuvent être remplacés par un radiateur annulaire entourant une enceinte d'échange thermique de révolution, autour de laquelle sont disposés les thermoéléments. On notera également que le radiateur secondaire 14 permet d'abaisser la température de la source froide.

Une bonne continuité électrique entre les thermoéléments et les barrettes de jonction peut être obtenue par tout autre moyen approprié que la soudure mentionnée ci-dessus, par exemple par compression des barrettes sur les thermoéléments.

Il serait également possible de prévoir des thermoéléments disposés en série, et qui, au fur et à mesure qu'ils s'échauffent, seraient divisés par des relais en groupes reliés en parallèle. A chaque niveau de tension prédéterminée, des relais font ainsi passer les groupes et sous-groupes successifs de thermoéléments du montage en série au montage en parallèle.

Un tel dispositif permet de limiter à une valeur convenable la tension à l'entrée du régulateur.

REVENDICATIONS

1 - Dispositif pour la transformation en électricité de la chaleur contenue dans les gaz d'échappement d'un moteur à combustion interne, cette électricité pouvant être immédiatement utilisée dans le
5 véhicule ou stockée dans sa batterie, caractérisé en ce qu'il comprend un générateur thermoélectrique (12) formé d'une série de thermoéléments (17, 17a, 17b) électriquement reliés entre eux et au circuit électrique du véhicule, et disposés entre une enceinte (21) communiquant avec une
10 pipe d'échappement (11) des gaz brûlés, et un circuit de fluide (16) de refroidissement du moteur formant une source froide, des moyens étant prévus pour assurer la conduction de chaleur entre les gaz d'échappement et le circuit de refroidissement (16) à travers les thermoéléments (17, 17a,
15 17b) afin de créer un courant électrique dans ces derniers, tandis que les gaz ayant traversé l'enceinte (21) sont évacués vers le pot d'échappement.

2 - Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'enceinte (21) est équipée d'ailettes intérieures
20 (24) d'échange thermique, facilitant le transfert de la chaleur du gaz aux thermoéléments (17), un isolant électrique (10) étant interposé entre l'enceinte (21) et ces derniers d'une part, et entre le circuit de fluide de refroidissement et lesdits thermoéléments (17) d'autre part.

25 3 - Dispositif selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel le fluide de refroidissement est de l'eau formant la source froide du générateur, caractérisé en ce que cette source froide est constituée de radiateurs (13) placés au contact des thermoéléments (17), parcourus
30 par une circulation d'eau, et raccordés à leurs extrémités à une conduite (16) du circuit de refroidissement du véhicule.

4 - Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les thermoéléments (17) parcourus par un courant continu pendant l'échappement des gaz, sont reliés à un régulateur de tension (26) qui transforme
5 la tension reçue en une tension utilisable par les accessoires et équipements électriques du véhicule.

5 - Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les thermoéléments sont des barreaux métalliques homogènes (17), réalisés par exemple en
10 tellurure de plomb de type P ou N dopés, ou composites, réalisés par exemple par deux éléments (17a, 17b) bout à bout en tellurure de plomb et tellurure de bismuth.

6 - Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les extrémités des thermoéléments
15 (17, 17a, 17b) sont revêtues d'une couche de fer, interposée entre ces extrémités et des barrettes (18) de jonction électrique soudées sur celles-ci, afin d'empêcher la pollution des thermoéléments (17, 17a, 17b) par les ions métalliques des barrettes (18).

20 7 - Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les tubes (11a-11d) constituant la pipe d'échappement (11) sont polis extérieurement et intérieurement et revêtus d'un isolant thermique (28) afin de limiter les pertes, ces tubes (11a - 11d)
25 étant de plus de préférence découplés de la culasse du moteur.

8 - Dispositif selon l'une des revendications 1, 2 et 4 à 7, dans lequel le fluide de refroidissement du moteur est l'air, caractérisé en ce que la source froide ventilée
30 par l'air est équipée d'ailettes de refroidissement en contact thermique avec les thermoéléments et isolées électriquement de ces derniers.

9 - Dispositif selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le générateur comporte au moins deux groupes (31, 32) de thermoéléments (33) isolés thermiquement, chaque groupe (31, 32) étant constitué de thermo-
5 éléments composites choisis pour être adaptés à la température d'équilibre dudit groupe.

Fig:1

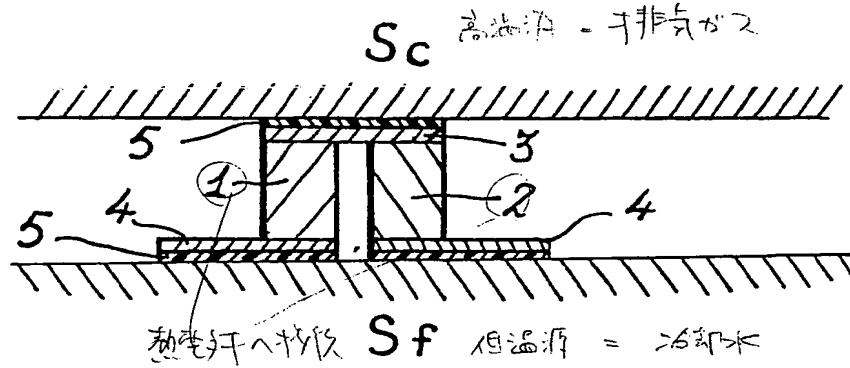


Fig:2

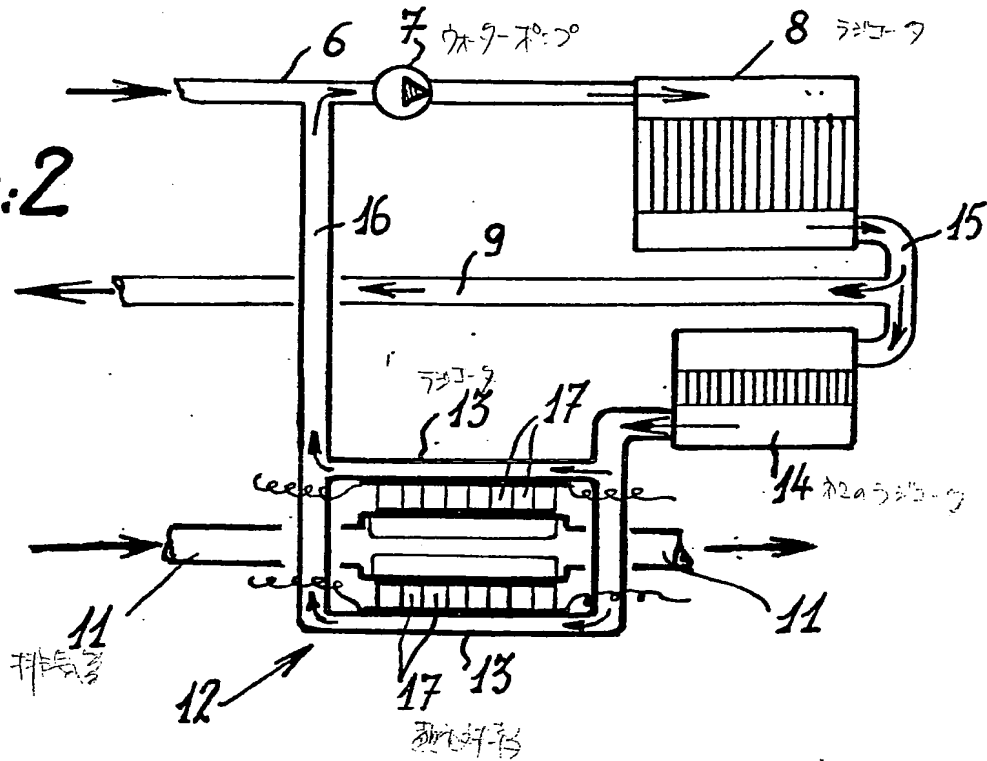


Fig:5

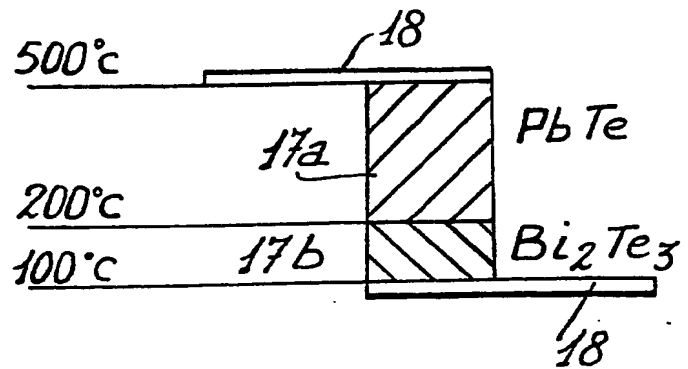


Fig:3

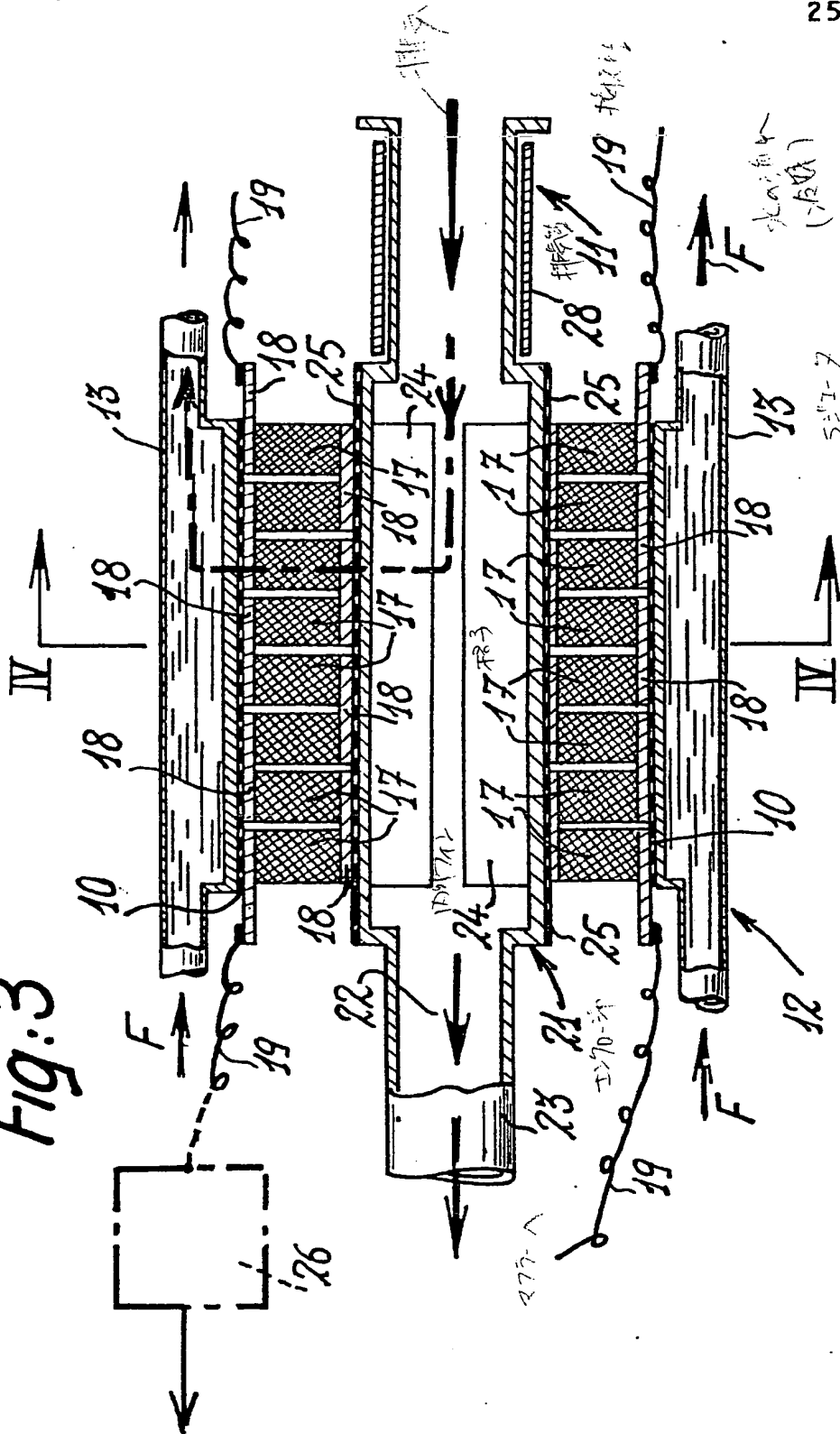


Fig: 4

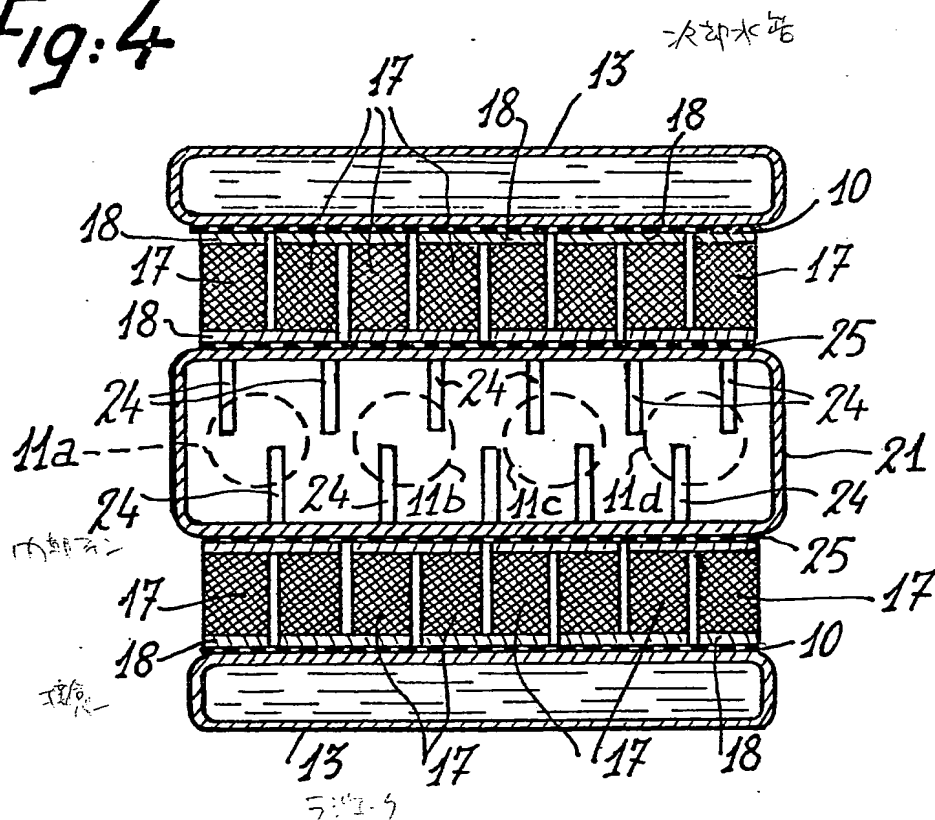


Fig: 6

